

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI
(c) 2002 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

012948493 **Image available**

WPI Acc No: 2000-120343/ 200011

XRPX Acc No: N00-091347

Optical characteristic testing method for lens used in projection optical system - involves varying wavelength of inspection light irradiated onto optical component under varying operating conditions

Patent Assignee: NIKON CORP (NIKR)

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 11352012	A	19991224	JP 98163496	A	19980611	200011 B

Priority Applications (No Type Date): JP 98163496 A 19980611

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 11352012	A	17	G01M-011/00	

Abstract (Basic): JP 11352012 A

NOVELTY - The variation in performance of optical component (14) under two different environmental conditions is determined. Then, the wavelength of inspection light applied to the component is varied. Based on the wavelength adjustment, the actual characteristic of optical component is evaluated. DETAILED DESCRIPTION - An INDEPENDENT CLAIM is also included for optical component manufacturing method.

USE - For lens and other optical components used in projection exposure system used for manufacturing liquid crystal display.

ADVANTAGE - Accurate inspection is done, as the inspection is carried out under actual operating conditions.

Dwg.1/7

Title Terms: OPTICAL; CHARACTERISTIC; TEST; METHOD; LENS; PROJECT; OPTICAL; SYSTEM; VARY; WAVELENGTH; INSPECT; LIGHT; IRRADIATE; OPTICAL; COMPONENT; VARY; OPERATE; CONDITION

Derwent Class: P81; P84; S02; U11

International Patent Class (Main): G01M-011/00

International Patent Class (Additional): G02B-007/08; G03F-007/20;

H01L-021/027

File Segment: EPI; EngPI

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-352012

(43)公開日 平成11年(1999)12月24日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 1 M 11/00

G 0 1 M 11/00

T

G 0 2 B 7/08

G 0 2 B 7/08

C

G 0 3 F 7/20

5 2 1

G 0 3 F 7/20

5 2 1

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 5 D

5 1 6 A

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 17 頁)

(21)出願番号

特願平10-163496

(22)出願日

平成10年(1998)6月11日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 田中 一政

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(72)発明者 牛田 一雄

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(72)発明者 塚越 敏雄

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

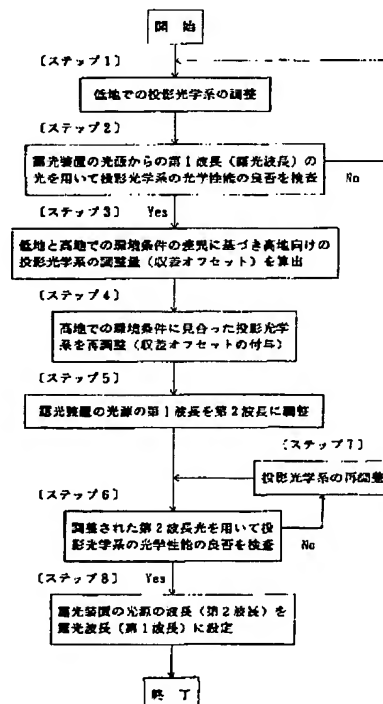
式会社ニコン内

(54)【発明の名称】 光学系の検査方法、光学系の製造方法及び露光装置の製造方法

(57)【要約】

【目的】本発明は、露光装置等の光学装置が実際に設置及び使用される環境条件とは異なる環境条件下でも投影光学系等の光学系の結像性能を、装置が設置及び使用される環境条件と同じになるように調整及び評価でき得る光学系の検査方法、その検査方法を用いた光学系及び露光装置の製造方法を提供する。

【構成】所定の波長を持つ光を光学系へ導く導光工程と、前記光学系の調整場所での環境条件と前記光学系の使用場所での環境条件の差異に基づき前記光学系に入射する前記光の波長を調整する波長調整工程とを有する光学系の検査方法。



【特許請求の範囲】

【請求項1】光学系の光学性能が検査される第1環境条件と前記光学系が使用される第2環境条件との差異に基づき、前記光学系の光学性能を検査するための検査光の波長を調整する波長調整工程と、
前記波長調整工程によって調整された波長を持つ検査光を用いて前記光学系の光学性能を検査する検査工程を有することを特徴とする光学系の検査方法。

【請求項2】第1波長を持つ第1検査光を用いて光学系の光学性能を第1環境条件のもとで検査する第1検査工程と、
前記光学系が使用される第2環境条件のもとで前記光学系の光学性能が最適となるように前記光学系に関する調整量を算出する調整量算出工程と、
前記調整量算出工程にて得られた前記光学系に関する調整量に基づいて前記光学系を調整する光学調整工程と、
前記第1波長の検査光とは異なる所定の第2波長を持つ第2検査光を用いて、前記光学調整工程によって調整された前記光学系の光学性能を前記第1環境条件のもとで検査する第2検査工程とを有することを特徴とする光学系の製造方法。

【請求項3】光学系の光学性能が検査される第1環境条件と前記光学系が使用される第2環境条件との差異に基づいて、第2環境条件のもとで前記光学系の光学性能が最適となるように前記光学系に関する調整量を算出する調整量算出工程と、
前記調整量算出工程にて得られた前記光学系に関する調整量に基づいて前記光学系を調整する光学調整工程と、
前記光学系の光学性能を検査するための検査用の光の波長を調整する波長調整工程と、
前記波長調整工程によって調整された波長を持つ検査用の光を用いて前記光学調整工程によって調整された前記光学系の光学特性を前記第1環境条件のもとで検査する検査工程とを有することを特徴とする光学系の製造方法。

【請求項4】前記波長調整工程は、第1環境条件と前記第2環境条件との差異に基づいて前記検査用の光の波長を求める波長算出工程を含むことを特徴とする請求項3に記載の光学系の製造方法。

【請求項5】前記光学系は、マスク上に形成される所定のパターンの像を感光性基板に投影する投影光学系であることを特徴とする請求項3又は請求項4に記載の光学系の製造方法。

【請求項6】第1環境条件のもとで光学系を調整する第1調整工程と、前記第1調整工程によって調整された前記光学系の光学性能を所定の波長を持つ検査光を用いて前記第1環境条件のもとで検査する第1検査工程と、
前記第1調整工程及び前記第1検査工程が実行される第1環境条件と前記光学系が使用される第2環境条件との差異に基づいて、前記第2環境条件のもとで前記光学系

の光学性能が最適となるように前記光学系に関する調整量を算出する調整量算出工程と、

前記調整量算出工程にて得られた前記光学系に関する調整量に基づいて前記光学系を調整する第2調整工程と、
前記検査光の波長を調整する波長調整工程と、
前記波長調整工程によって調整された検査光を用いて前記第2調整工程によって調整された前記光学系の光学特性を前記第1環境条件のもとで再検査する第2検査工程とを有することを特徴とする光学系の製造方法。

【請求項7】前記波長調整工程は、前記第1環境条件と前記第2環境条件との差異に基づいて、前記光学系の光学性能を再検査するための検査光の波長を求める波長算出工程を含むことを特徴とする請求項6に記載の光学系の製造方法。

【請求項8】前記光学系は、マスク上に形成される所定のパターンの像を感光性基板に投影する投影光学系であることを特徴とする請求項6又は請求項7に記載の光学系の製造方法。

【請求項9】請求項8に記載の光学系の製造方法によって製造された光学系を提供する工程と、
前記光学系の物体面に前記マスクを設定するマスク設定工程と、
前記光学系の像面に前記感光性基板を設定する基板設定工程と、
前記第1検査工程で用いた検査光または前記第1検査工程で用いた検査光と同じ波長を持つ光を露光用の光として用いて前記マスクを照明する照明工程と、
前記投影光学系を介して前記マスクのパターン像を前記感光性基板に投影する投影工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項10】所定のパターンが形成されたマスクを照明するために、所定の基準波長を持つ光を出力する光源と、前記マスクのパターンの像を感光性基板に投影する投影光学系とを備えた露光装置の製造方法において、
前記露光装置が製造される第1環境条件と前記露光装置が使用される第2環境条件との差異に基づいて、第2環境条件のもとで前記投影光学系の光学性能が最適となるように前記投影光学系に関する調整量を算出する調整量算出工程と、

前記調整量算出工程にて得られた前記投影光学系に関する調整量に基づいて前記投影光学系を調整する光学調整工程と、
前記光源から出力される光の基準波長を該基準波長とは異なる検査用の光の波長に調整する波長調整工程と、
前記波長調整工程によって調整された波長を持つ検査用の光を用いて前記調整工程によって調整された前記投影光学系の光学特性を前記第1環境条件のもとで検査する検査工程とを有することを特徴とする露光装置の製造方法。

【請求項11】前記波長調整工程は、前記第1環境条件

と前記第2環境条件との差異に基づき、前記投影光学系の光学性能を検査するための検査用の光の波長を求める波長算出工程とを含むことを特徴とする請求項10に記載の露光装置の製造方法。

【請求項12】所定のパターンが形成されたマスクを照明するために、所定の基準波長を持つ光を出力する光源と、前記マスクのパターンの像を感光性基板上に投影する投影光学系とを備えた露光装置の製造方法において、第1環境条件のもとで前記投影光学系を調整する第1調整工程と、

前記第1調整工程によって調整された前記投影光学系の光学性能を前記光源から出力される前記基準波長を持つ光を用いて前記第1環境条件のもとで検査する第1検査工程と、

前記第1調整工程及び前記第1検査工程が実行される第1環境条件と前記露光装置が使用される第2環境条件との差異に基づいて、第2環境条件のもとで前記投影光学系の光学性能が最適となるように前記投影光学系に関する調整量を算出する調整量算出工程と、

前記調整量算出工程にて得られた前記投影光学系に関する調整量に基づいて前記投影光学系を調整する第2調整工程と、

前記光源から出力される光の基準波長を第2検査用の光の波長に調整する波長調整工程と、

前記波長調整工程によって調整された波長を持つ前記第2検査用の光を用いて前記第2調整工程によって調整された前記投影光学系の光学特性を前記第1環境条件のもとで検査する第2検査工程とを有することを特徴とする露光装置の製造方法。

【請求項13】前記波長調整工程は、前記第1環境条件と前記第2環境条件との差異に基づき、前記投影光学系の光学性能を再検査するための前記第2検査用の光の波長を求める波長算出工程を含むことを特徴とする請求項12に記載の露光装置の製造方法。

【請求項14】前記露光装置が使用される前記第2環境条件のもとに設置される迄に、前記光源から出力される光の波長を前記基準波長に設定する基準波長設定工程をさらに有することを特徴とする請求項10乃至請求項13のいずれか1項に記載の露光装置の製造方法。

【請求項15】請求項14に記載の露光装置の製造方法によって製造された露光装置を提供する工程と、前記光源からの基準波長によって前記マスクを照明する照明工程と、

前記投影光学系を介して前記マスクのパターン像を前記感光性基板上に投影する投影工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光学系の評価方法に関するものであり、特に、好ましくは半導体素子や液

晶表示素子を光リソグラフィー工程によって製造する露光装置における投影光学系の評価方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体素子、液晶表示素子等の素子を製造するために、所定のパターンが形成された投影原版としてのマスクを、投影光学系を介して感光性基板上に投影露光する露光装置が用いられている。このような露光装置の投影光学系としては、露光波長の光に対して透過性の光学特性を持つ屈折性の光学素子等のレンズで構成される屈折型の投影光学系、あるいは屈折性の光学素子等のレンズと反射性の光学素子としてのミラーとを組み合わせて構成される反射屈折型の投影光学系が用いられている。

【0003】他方、近年においては、半導体素子、液晶表示素子等に代表される素子の集積度が高まり、感光性基板上に転写されるパターンも微細化の一途をたどっている。そして、マスクのパターンを感光性基板上に良好に転写し得る露光装置、さらにはより高い集積度を持つ半導体素子を始めた各種の素子を製造するための露光装置を実現するためには、露光装置中の投影光学系においてより高い解像力を持つ極めて高い光学性能が要求される。

【0004】より高い解像力を達成するために、投影光学系の開口数(NA)が大きくなっているのと同時に、露光光を供給する光源もg線(436nm)やi線(365nm)を発光する従来の超高圧水銀ランプから、より波長の短いエキシマレーザ等が用いられ始められている。これらの露光装置が設置されて実際に使用される場所は、露光装置の投影光学系の調整及び評価が行われた環境条件と必ずしも同じとは限らない。例えば、露光装置が設置されて実際に使用される場所は、露光装置の投影光学系の調整及び評価が行われた標高と比べて、はるかに標高が高く、平均気圧の低い場所となるケースも多い。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】一般的に、標高が変化する大気圧が変化し、それに伴い空気の屈折率が変化する。そして、空気の屈折率が変化すると、レンズ等の屈折性の光学素子等においては、屈折面での光線の屈折角が変化し、その結果、光学系の結像性能が変化する。

【0006】従来においては、露光装置の投影光学系の調整、評価を行う標高(以下、低地と呼ぶ。)と露光装置が実際に設置及び使用される標高(以下、高地と呼ぶ。)が異なる場合には、一旦、低地において調整等によって投影光学系を所望の結像性能にする。その後、例えば投影光学系のレンズ間隔を変更して、露光装置を高地に移動及び設置した状態において、投影光学系の所望の結像性能が再現できるように意図的に投影光学系の結像性能を変化させている。

【0007】しかしながら、投影光学系において異なる

標高向けの収差オフセットを加えた場合には、投影光学系の結像性能が悪化し、低地において投影光学系の結像性能の正確な評価が困難となる。このため、露光装置が実際に設置及び使用される場所での投影光学系の光学性能を予め低地において確認するためには、露光装置全体が収納できる気圧可変チャンパー等の大掛かりな設備と時間が必要となる。

【0008】そこで、本発明は、以上の課題に鑑みてなされたものであり、露光装置等の光学装置が実際に設置及び使用される環境条件とは異なる環境条件下でも投影光学系等の光学系の結像性能を、装置が設置及び使用される環境条件と同じになるように調整及び評価でき得る光学系の検査方法、その検査方法を用いた光学系及び露光装置の製造方法を提供することを目的としている。

【0009】

【発明を解決するための手段】以上の目的を達成するために、請求項1に係る発明では、光学系の光学性能が検査される第1環境条件と前記光学系が使用される第2環境条件との差異に基づき、前記光学系の光学性能を検査するための検査光の波長を調整する波長調整工程と、前記波長調整工程によって調整された波長を持つ検査光を用いて前記光学系の光学性能を検査する検査工程を有する光学系の検査方法を提供するものである。

【0010】請求項2に係る発明では、第1波長を持つ第1検査光を用いて光学系の光学性能を第1環境条件のもとで検査する第1検査工程と、前記光学系が使用される第2環境条件のもとで前記光学系の光学性能が最適となるように前記光学系に関する調整量を算出する調整量算出工程と、前記調整量算出工程にて得られた前記光学系に関する調整量に基づいて前記光学系を調整する光学調整工程と、前記第1波長の検査光とは異なる所定の第2波長を持つ第2検査光を用いて、前記光学調整工程によって調整された前記光学系の光学性能を前記第1環境条件のもとで検査する第2検査工程とを有する光学系の製造方法を提供するものである。

【0011】請求項3に係る発明では、光学系の光学性能が検査される第1環境条件と前記光学系が使用される第2環境条件との差異に基づいて、第2環境条件のもとで前記光学系の光学性能が最適となるように前記光学系に関する調整量を算出する調整量算出工程と、前記調整量算出工程にて得られた前記光学系に関する調整量に基づいて前記光学系を調整する光学調整工程と、前記光学系の光学性能を検査するための検査用の光の波長を調整する波長調整工程を、前記波長調整工程によって調整された波長を持つ検査用の光を用いて前記光学調整工程によって調整された前記光学系の光学特性を前記第1環境条件のもとで検査する検査工程とを有する光学系の製造方法を提供するものである。

【0012】請求項4に係る発明では、上記請求項3の発明に基づき、前記波長調整工程は、第1環境条件と前

記第2環境条件との差異に基づいて前記検査用の光の波長を求める波長算出工程を含む光学系の製造方法を提供するものである。請求項5に係る発明では、上記請求項3及び請求項4の発明に基づき、前記光学系がマスク上に形成される所定のパターンの像を感光性基板に投影する投影光学系である光学系の製造方法を提供するものである。

【0013】請求項6に係る発明では、第1環境条件のもとで光学系を調整する第1調整工程と、前記第1調整工程によって調整された前記光学系の光学性能を所定の波長を持つ検査光を用いて前記第1環境条件のもとで検査する第1検査工程と、前記第1調整工程及び前記第1検査工程が実行される第1環境条件と前記光学系が使用される第2環境条件との差異に基づいて、前記第2環境条件のもとで前記光学系の光学性能が最適となるように前記光学系に関する調整量を算出する調整量算出工程と、前記調整量算出工程にて得られた前記光学系に関する調整量に基づいて前記光学系を調整する第2調整工程と、前記検査光の波長を調整する波長調整工程と、前記波長調整工程によって調整された検査光を用いて前記第2調整工程によって調整された前記光学系の光学特性を前記第1環境条件のもとで再検査する第2検査工程とを有する光学系の製造方法を提供するものである。

【0014】請求項7に係る発明では、請求項6の発明に基づき、前記波長調整工程は、前記第1環境条件と前記第2環境条件との差異に基づいて、前記光学系の光学性能を再検査するための検査光の波長を求める波長算出工程を含む光学系の製造方法を提供するものである。請求項8に係る発明では、上記請求項6及び請求項7の発明に基づき、前記光学系は、マスク上に形成される所定のパターンを感光性基板に投影する投影光学系である光学系の製造方法を提供するものである。

【0015】請求項9に係る発明では、請求項8に記載の光学系の製造方法によって製造された光学系を提供する工程と、前記光学系の物体面に前記マスクを設定するマスク設定工程と、前記光学系の像面に前記感光性基板を設定する基板設定工程と、前記第1検査工程で用いた検査光または前記第1検査工程で用いた検査光と同じ波長を持つ光を露光用の光として用いて前記マスクを照明する照明工程と、前記投影光学系を介して前記マスクのパターン像を前記感光性基板に投影する投影工程とを含む露光方法を提供するものである。

【0016】請求項10に係る発明では、所定のパターンが形成されたマスクを照明するために、所定の基準波長を持つ光を出力する光源と、前記マスクのパターンの像を感光性基板に投影する投影光学系とを備えた露光装置の製造方法において、前記露光装置が製造される第1環境条件と前記露光装置が使用される第2環境条件との差異に基づいて、第2環境条件のもとで前記投影光学系の光学性能が最適となるように前記投影光学系に関する

10

20

30

40

50

調整量を算出する調整量算出工程と、前記調整量算出工程にて得られた前記投影光学系に関する調整量に基づいて前記投影光学系を調整する光学調整工程と、前記光源から出力される光の基準波長を該基準波長とは異なる検査用の光の波長に調整する波長調整工程と、前記波長調整工程によって調整された波長を持つ検査用の光を用いて前記調整工程によって調整された前記投影光学系の光学特性を前記第1環境条件のもとで検査する検査工程とを有する露光装置の製造方法を提供するものである。

【0017】請求項11に係る発明では、請求項10の発明に基づき、前記波長調整工程は、前記第1環境条件と前記第2環境条件との差異に基づき、前記投影光学系の光学性能を検査するための検査用の光の波長を求める波長算出工程とを含む露光装置の製造方法を提供するものである。請求項12に係る発明では、所定のパターンが形成されたマスクを照明するために、所定の基準波長を持つ光を出力する光源と、前記マスクのパターンの像を感光性基板に投影する投影光学系とを備えた露光装置の製造方法において、第1環境条件のもとで前記投影光学系を調整する第1調整工程と、前記第1調整工程によって調整された前記投影光学系の光学性能を前記光源から出力される前記基準波長を持つ光を用いて前記第1環境条件のもとで検査する第1検査工程と、前記第1調整工程及び前記第1検査工程が実行される第1環境条件と前記露光装置が使用される第2環境条件との差異に基づいて、第2環境条件のもとで前記投影光学系の光学性能が最適となるように前記投影光学系に関する調整量を算出する調整量算出工程と、前記調整量算出工程にて得られた前記投影光学系に関する調整量に基づいて前記投影光学系を調整する第2調整工程と、前記光源から出力される光の基準波長を第2検査用の光の波長に調整する波長調整工程と、前記波長調整工程によって調整された波長を持つ前記第2検査用の光を用いて前記第2調整工程によって調整された前記投影光学系の光学特性を前記第1*

$$(2) \quad (n_s - 1) \times 10^8 = 6432.8 + 2949810 / (146 - \lambda^{-2})$$

また、気圧P (Pa)、空気の温度T (°C) 及び空気の屈折率 n_{air} の関係は以下の(3)式に示す関係で与*

$$(3) \quad n_{air} = 1 + [(n_s - 1) \cdot P (1 + 7.501 \times 10^{-3} P \beta_T) (1 + 15\alpha)] / (1.013 \times 10^5 (1 + 760 \beta_{15}) (1 + \alpha T))$$

ここで、 β_T 及び β_{15} にはそれぞれ $\beta_T = (1.049 - 0.0157T) \times 10^{-6}$ 、 $\beta_{15} = 0.8135 \times 10^{-6}$ の関係が成立する。

【0022】そして、上記(1)乃至(3)式より、低地と高地での空気の屈折率を求めることができる。また、ここで、低地における光学系を構成するレンズ等の屈折光学素子の屈折を考える。今、低地での空気の屈折率を n_L 、光学系のレンズ等の屈折光学素子の第1波長 λ_1 に対する絶対屈折率を n_{abs1} 、光学系のレンズ等の屈折光学素子の屈折面への第1波長 λ_1 の光線の入射角を θ_1 、光学系のレンズ等の屈折光学素子の屈折面から★50

*環境条件のもとで検査する第2検査工程とを有する露光装置の製造方法を提供するものである。

【0018】請求項13に係る発明では、請求項12の発明に基づいて、前記波長調整工程は、前記第1環境条件と前記第2環境条件との差異に基づき、前記投影光学系の光学性能を再検査するための前記第2検査用の光の波長を求める波長算出工程を含む露光装置の製造方法を提供するものである。請求項14に係る発明では、請求項10乃至請求項13のいずれか1項の発明に基づき、前記露光装置が使用される前記第2環境条件のもとに設置される迄に、前記光源から出力される光の波長を前記基準波長に設定する基準波長設定工程をさらに有する露光装置の製造方法を提供するものである。

【0019】請求項15に係る発明では、請求項14に記載の露光装置の製造方法によって製造された露光装置を提供する工程と、前記光源からの基準波長によって前記マスクを照明する照明工程と、前記投影光学系を介して前記マスクのパターン像を前記感光性基板に投影する投影工程とを含む露光方法を提供するものである。

【0020】

【発明の実施の形態】環境変化の1つの要因として、標高差による気圧の変化が挙げられる。例えば、一般的に標高が高くなると、それに伴い気圧が下がる。そして、標高、気圧及び空気の温度との関係は以下の(1)式に示す関係で表現できる。

$$(1) \quad h = 18400 (\log B_0 - \log B) (1 + \alpha T)$$

ここで、hは標高(m)、 B_0 は低地での気圧(hPa)、Bは高地での気圧(hPa)、 α は空気膨張係数($\alpha = 0.0036728$)、Tは標高hでの空気の温度(°C)である。

【0021】次に、標準空気(15°C、 1.01325×10^5 Pa)中での光の波長 λ (真空中では0.2~1.35 μ m、)と標準空気の屈折率 n_s との関係は以下の(2)式に示す関係で与えられる。

$$+ 25540 / (41 - \lambda^{-2})$$

※えられる。

★の第1波長 λ_1 の光線の射出角を θ_1' とすると、屈折光学素子の屈折面では、屈折の法則(スネルの法則)から、以下の(4)式の関係が成立する。

$$(4) \quad n_{airL} \times \sin \theta_1 = n_{abs1} \times \sin \theta_1'$$

一方、次に、高地における光学系を構成するレンズ等の屈折光学素子の屈折を考える。今、高地での空気の屈折率を n_H 、光学系のレンズ等の屈折光学素子の屈折面への第1波長 λ_1 の光線の入射角を θ_2 、光学系のレンズ等の屈折光学素子の屈折面からの第1波長 λ_1 の光線の射出角を θ_2' とすると、屈折光学素子の屈折面では、

屈折の法則(スネルの法則)から、以下の(5)式の関係が成立する。

$$(5) \quad n_{airH} \times \sin \theta_2 = n_{abs1} \times \sin \theta_2'$$

ここで、 $\theta_1 = \theta_2$ 、 $\theta_1' = \theta_2'$ の場合には、低地と高地での屈折角が同じであるため、光学系にて発生する収差は同じである。しかしながら、 $n_{airL} \neq n_{airH}$ である限り、低地と高地での収差は同じにならない。

【0023】このため、低地での屈折角と高地での屈折角とを同じくするためには、光学系のレンズ等の屈折光学素子の屈折面への第2波長 λ_2 の光線の入射角を θ_2 、光学系のレンズ等の屈折光学素子の屈折面からの第2波長 λ_2 の光線の射出角を θ_2' 、光学系のレンズ等の屈折光学素子の第2波長 λ_2 に対する絶対屈折率を n_{abs2} とすると、以下の(6)式の関係式を満足すれば良い。

$$(6) \quad n_{airL} \times \sin \theta_2 = n_{abs2} \times \sin \theta_2'$$

従って、上記(5)式及び上記(6)式の関係から以下の(7)式が導出できる。

$$(7) \quad n_{abs2} = n_{airL} \times n_{abs1} / n_{airH}$$

以上のように、光学系を低地に置いた状態で、光源から供給される光の第1波長 λ_1 を、光学系を構成する屈折光学素子の絶対屈折率が上記(7)式に相当する第2波長に変化させることによって、露光装置等の光学装置全体を気圧可変チャンバー等の大掛かりな装置を用いることなく、光学系の光学性能を例えば高地に置いた状態と同じ条件で調整及び評価をすることができ。

【0024】なお、この場合、光学系の光学性能をより正確に調整及び評価するためには、光学系を構成する全ての屈折光学素子が同じ分散、即ち同一種類の硝材から構成されていることが望ましい。さて、次に、図1及び図2を参照しながら本発明の実施の形態について説明する。

【0025】図1は本発明の実施の形態による露光装置の概略的な構成図である。図1に示すように、光源1は、例えば、248nmの波長を持つレーザ光を発振するKrFエキシマレーザや193nmの波長を持つレーザ光を発振するArFエキシマレーザ等のレーザ光源で構成されている。光源1から供給された光は照明光学系12を介して所定の回路パターンが形成されたマスクを均一に照明する。

【0026】なお、図1では図示していないが、照明光学系12は、光源1からの光束径(又は光束の断面形状)を適切な大きさの光束径(又は光束の断面形状)に整形するビーム整形光学系、そのビーム整形光学系からの光を受けて多数の光源を形成するオプティカルインテグレート系(1つまたは複数のフライアイレンズ又は内面反射型のロッド状の棒状光学部材)、そのオプティカルインテグレート系からの複数の光源からの光をそれぞれ集光して、マスク13を重畳的に照明するコンデンサー光学系とを有している。

【0027】さて、照明光学系12によって照明されたマスク13のパターン像は、投影光学系14によって感光性基板(ウエハ等)14に転写(露光)される。ここで、投影光学系14は、多数の屈折系光学素子で構成される屈折型投影光学系、あるいは多数の屈折系光学素子と少なくとも1枚以上の反射型光学素子(凹面鏡や凸面鏡等)との組合せで構成される反射屈折型投影光学系で構成されている。

【0028】図2は図1に示した露光装置の光源11としてのエキシマレーザ光源の構造を示している。図2に示すように、エキシマレーザ光源は、共振器と放電電極等を含むエキシマレーザ発振部(レーザチャンバー)23、プリズム22と反射型回折格子21とを含みエキシマレーザ発振部23から出力されるレーザ光の波長を狭帯化する波長狭帯部とを有している。そして、エキシマレーザ光源から射出される狭帯化されたレーザ光は、図1に示す照明光学系12へ導かれる。

【0029】また、エキシマレーザ光源から出力されるレーザ光の射出側には、エキシマレーザ光源から出力されるレーザ光の1部を分岐させる光分割部材25が配置され、光分割部材25の反射方向には、光分割部材25を反射したレーザ光の波長を監視する波長検出装置としての波長モニター24が設けられている。この波長モニター24はエタロン等の光学素子を含み、このエタロン等の光学素子を用いてレーザ光の波長が測定される。さらに、この波長モニター24にて計測されたレーザ光の出力波長が適切でない場合、波長モニター24にて計測された情報に基づいて、波長狭帯部中のプリズム22や反射型回折格子21の傾き(角度)を算出する(波長狭帯部の調整量を算出する)調整量算出部26と、この調整量算出部からの情報に基づいて、波長狭帯部中のプリズム22や反射型回折格子21を適切な傾き(角度)に設定する駆動部27がそれぞれ設けられている。

【0030】なお、設定すべき波長等の入力情報は、コンソール等の入力部28を介して調整量算出部26に入力され、調整量算出部26は、波長モニター24からの計測情報と入力部28からの入力情報とに基づいて波長調整手段(プリズム22や反射型回折格子21)に関する波長調整量を算出する。以上の図2に示す出力波長調整機構を備えたエキシマレーザ光源を光源として用いることによって、適切な波長の光を照明光学系12及び投影光学系14へ導くことができる。

【0031】以上の図1及び図2に示した露光装置によって本発明による投影光学系14の評価方法について図3を参照しながら説明する。

〔ステップ1〕低地において、多数の光学部材(レンズ、レンズ保持部材等)で組み上げられた投影光学系14を調整する。つまり、このステップ1では、投影光学系13を構成する光学部材の製造誤差や組立て誤差等により発生する収差を補正するために、投影光学系14を

構成する光学部材間の間隔（例えば、レンズ間の間隔）を変化させたり、あるいは投影光学系14を構成する光学部材を傾斜、又は光軸と直交する方向に変位させる等の手法により投影光学系14を調整する。

〔ステップ2〕上記ステップ1において調整された投影光学系14が低地の環境条件において所定の光学性能（結像性能）を満たしているか否かを確認するために、ステップ2では投影光学系14の光学性能を検査（又は評価）する。投影光学系14の光学性能は、例えば、試し露光の手法によって評価される。試し露光とは、図1に示すように、投影光学系14を一旦露光装置本体に取りつけて、投影光学系14の物体面に所定のテストパターンが形成されたテストマスク13を設定し、投影光学系14の像面に感光性基板（レジストが塗布されたウエハ等）15を設定する。そして、図1に示すように、光源1からの光を照明光学系12を介してテストマスク13を照明し、投影光学系14を介してテストマスク13のテストパターン像を感光性基板15に転写する。その後、感光性基板15上に転写されたテストパターン像を電子顕微鏡等の観察装置を用いて観察や計測することにより、投影光学系14の光学性能を評価することができる。

【0032】なお、投影光学系14の光学性能を検査（評価）する手法としては、試し露光の手法に限らない。例えば、投影光学系14の物体面にテストマスクを設定し、投影光学系14の像面もしくはそれと共役な位置にテストマスクの像を光電検出する検出系とその検出系からの出力信号に対し所定の信号処理を行う処理装置とを配置し、露光用の波長を持つ光を上記テストマスクに照明する。これにより、その処理装置からの処理情報に基づいて投影光学系14の光学性能を光電的に検出・評価することができる。さらには、投影光学系14の光学性能は、露光用の波長を持つ光を用いる干渉計システムによっても検査（評価）することも可能である。

【0033】ここで、以上に述べた手法によって投影光学系14の光学性能を評価した結果、もし、投影光学系14の光学性能が所定の光学性能を満たしていない場合には再び上記ステップ1に戻って、再度投影光学系14の調整が実行される。また、もし、投影光学系14の光学性能が所定の光学性能を満たしている場合には、次のステップ3へ移行する。

〔ステップ3〕ステップ3では、まず、第1のサブステップにおいて、低地と高地との環境条件の差異の1つとしての気圧の差異に基づいて、低地での空気の屈折率、高地での空気の屈折率について算出する。次に、第2のサブステップにおいて、上記ステップ2を経た投影光学系14の調整後のレンズデータ、及び第1のサブステップにて求められた低地での空気の屈折率、高地での空気の屈折率及び波長変更量に基づいて、投影光学系14の高地向けのオフセット量を算出する。以下において、各

サブステップについて1例を挙げながら具体的に説明する。

（第1のサブステップ）第1のサブステップにおいては、低地と高地との気圧差に基づき、低地での空気の屈折率、高地での空気の屈折率及び評価用または露光用の光源から出力される光の波長変更量について算出する。

【0034】まず、露光装置の投影光学系14の調整、評価を行う地点（低地）での標高を海拔50m、露光装置を設置してこれを実際に使用する地点（高地）での標高を海拔1000m、低地及び高地での空気の温度（露光装置の設定温度）を23°C、露光装置の光源であるエキシマレーザ光源から発振される光の波長 λ を0.2484 μ m、標高0m（海拔0m）での大気圧を1気圧（1013.25hPa）、標高50m（低地）の地点での大気圧を B_L とすると、標高50m（低地）の地点での大気圧 B_L は、前述した（1）式から以下に示す（8）式のようになる。

$$(8) \quad B_L = 1007.4207 \text{ hPa}$$

また、標高1000m（高地）の地点での大気圧を B_H とすると、標高1000m（高地）の地点での大気圧 B_H は、前述した（1）式から以下に示す（9）式のようになる。

$$(9) \quad B_H = 902.8221 \text{ hPa}$$

また、標準空気（温度：15°C、気圧：1.01325 $\times 10^5$ Pa=1013.25hPa）に対する波長が0.2484 μ mの光の屈折率は、上記（2）式より以下に示す（10）式のようになる。

$$(10) \quad n_s = 1.0003019$$

従って、標高50mの地点（低地）での波長が0.2484 μ mの光に対する23°Cの空気の屈折率 n_{airL} は、上記（3）式に上記（8）式及び（10）式の値を代入することにより、以下に示す（11）式のようになる。

$$(11) \quad n_{airL} = 1.0002920$$

一方、海拔1000mでの波長が0.2484 μ mの光に対する23°Cの空気の屈折率 n_{airH} は、上記（3）式に上記（9）式及び（10）式の値を代入することにより、以下に示す（12）式のようになる。

$$(12) \quad n_{airH} = 1.0002617$$

（第2のサブステップ）以上の第1のサブステップにて得られた低地の環境条件のもとでの空気の屈折率（ $n_{airL} = 1.0002920$ ）、高地の環境条件のもとでの空気の屈折率（ $n_{airH} = 1.0002617$ ）に基づいて、図1に示す投影光学系14を構成する複数の光学素子の少なくとも1つに関して高地での結像性能が最適となるように高地向けの調整量又は調整値を求める。

【0035】ここで、一例として、図4に示す投影光学系14のレンズデータを表1に掲げる。以下の表1に示されるレンズデータは、上記ステップ1の調整工程及び上記ステップ2の低地の環境条件のもとでの検査工程

(評価工程)を経て低地での光学性能が十分に引き出された状態でのものである。表1において、Bは投影光学系の投影倍率、NAは投影光学系の像側(ウエハ側)での開口数、Lは物体面R(レチクル13)から像面W(ウエハ15)までの距離(物像間距離)、左端の数字は物体(レチクル13)側からのレンズ面の順序、rはレンズ面の曲率半径、dは各レンズ面の間隔、左端の記号は図3に示すレンズの番号を示している。但し、表1に示す全てのレンズは合成石英で構成され、波長 λ が0.2484 μ mの光に対する合成石英の屈折率は、1.5083900である。

10

20

30

40

[表1]

B=1/5、NA=0.55、L=1200

	r	d	
0	∞	104.71662	R
1	955.26796	23.00000	L1
2	-675.53148	20.81278	(空気)
3	788.04209	24.00000	L2
4	-320.77870	7.92536	(空気)
5	-261.99847	20.00000	L3
6	-613.40707	1.04750	(空気)
7	343.77433	27.00000	L4
8	-614.74297	0.97572	(空気)
9	220.40014	24.00000	L5
10	111.87626	27.04713	(空気)
11	230.00000	23.00000	L6
12	-410.00000	1.10686	(空気)
13	-2449.05000	17.00000	L7
14	118.87129	18.76700	(空気)
15	-632.77988	12.90000	L8
16	143.15226	26.88549	(空気)
17	-108.88557	15.00000	L9
18	595.22400	52.22565	(空気)
19	1526.21000	35.00000	L10
20	-168.52598	14.91509	(空気)
21	-120.87196	22.80000	L11
22	-188.10351	2.79782	(空気)
23	-3191.22000	27.00000	L12
24	-296.62706	2.87255	(空気)
25	697.45117	28.00000	L13
26	-669.27158	2.49780	(空気)
27	358.82454	27.00000	L14
28	-2986.21000	1.64701	(空気)
29	223.50971	31.00000	L15
30	-1510.16000	8.60527	(空気)
31	-3596.81000	21.00000	L16
32	141.11696	9.76890	(空気)
33	194.35300	17.00000	L17
34	157.66411	31.54706	(空気)
35	-209.96142	15.90000	L18
36	307.10883	56.68624	(空気)
37	-175.13115	18.00000	L19
38	-1162.95000	6.28784	(空気)
39	-505.38166	23.00000	L20
40	-213.39177	1.14438	(空気)
41	3114.45000	23.00000	L21

42	-339.03822	2.92283	(空気)
43	460.54759	40.00000	L22
44	-326.27369	9.43498	(空気)
45	-231.89968	27.00000	L23
46	-372.57441	1.10071	(空気)
47	390.03678	28.00000	L24
48	-1994.66000	4.83032	(空気)
49	182.18377	29.00000	L25
50	525.45378	3.29194	(空気)
51	138.67730	39.90000	L26
52	312.43609	9.82671	(空気)
53	511.48346	23.00000	L27
54	81.45867	7.04896	(空気)
55	93.64185	34.00000	L28
56	934.34560	2.00000	(空気)
57	826.70065	35.00000	L29
58	1680.21000	28.76320	(空気)
59	∞	W	

図5及び図6には図4に示した投影光学系の収差図を示している。図5における(a)及び(b)は、上記表1に示したレンズデータに基づいて得られる球面収差の様子を示している。図5において、(a)は標高50mの地点(低地)での波長 $\lambda=0.2484\mu\text{m}$ (第1波長)に対する球面収差の様子を示す図、(b)は標高1000mの地点(高地)での波長 $\lambda=0.2484\mu\text{m}$ (第1波長)に対する球面収差の様子を示す図である。但し、図5(a)及び図6(b)に示す球面収差図は表1に示されるレンズデータの空気の屈折率を $n_{\text{airL}}=1.0002920$ (上記(11)式にて示される標高50mの低地での空気の屈折率)とした場合のものである。

【0036】また、図6における(a)及び(b)は、上記表1に示したレンズデータに基づいて得られる歪曲収差の様子を示している。図6において、(a)は標高50mの地点(低地)での波長 $\lambda=0.2484\mu\text{m}$ (第1波長)に対する歪曲収差の様子を示す図、(b)は標高1000mの地点(高地)での波長 $\lambda=0.2484\mu\text{m}$ (第1波長)に対する歪曲収差の様子を示す図である。但し、図6(a)及び図6(b)の歪曲収差図は表1に示されるレンズデータの空気の屈折率を $n_{\text{airH}}=1.0002617$ (上記(12)式にて示される標高1000mの高地での空気の屈折率)とした場合のものである。

【0037】以上のように、図5(a)及び図6(a)に示されるように、表1に示す投影光学系は標高50mの地点(低地)において収差が良好に補正されることが分かる。しかしながら、図5(b)及び図6(b)に示されるように、表1に示す投影光学系は標高1000mの地点(高地)において収差が悪化しており、例えば、球面収差が最大で $-5\mu\text{m}$ 発生していることが分かる。

る。

【0038】このように、大きな球面収差や歪曲収差等の諸収差が発生している状況では、投影光学系の所望の光学性能を発揮させることはできない。従って、投影光学系において、事前に標高1000mの高地向けのオフセットを持たせることが必要となる。そこで、第2のサブステップでは、標高1000mの地点(高地)において良好なる光学性能を引き出すために、図4に示す投影光学系を構成する各光学素子(レンズ)の調整量又は調整値を求める。各光学素子(レンズ)の調整量又は調整値は、計算機等の演算装置を用いて表1に示されるレンズデータに基づき光線追跡等の自動設計を行くことにより求められる。このとき、光線追跡等の自動設計される時、表1の空気の屈折率は、上記(12)式にて示したように、標高1000mの高地での空気の屈折率($n_{\text{airH}}=1.0002617$)である。

【0039】以下の表2において、表1に示されるレンズデータに基づき計算機等の演算装置によって求められた投影光学系を構成する光学素子(レンズ)の高地向けの調整値を示すレンズデータを掲げる。表2に示す例では、標高1000mの地点(高地)において良好なる光学性能を引き出すために、表1に示すレンズL2~L29のレンズ間隔(空気間隔)を僅かに変更して、高地向けの収差オフセットを加えた状態のレンズデータを示している。ここで、表2では、レンズL2~L29のレンズ間隔(空気間隔)の値をレンズの調整値として示している。

〔表2〕

B=1/5, NA=0.55, L=1200

	r	d	
0	∞	104.71662	R
1	955.26796	23.00000	L1
2	-675.53148	20.81327	(空気)
3	788.04209	24.00000	L2
4	-320.77870	7.92688	(空気)
5	-261.99847	20.00000	L3
6	-613.40707	1.05238	(空気)
7	343.77433	27.00000	L4
8	-614.74297	0.98439	(空気)
9	220.40014	24.00000	L5
10	111.87626	27.05197	(空気)
11	230.00000	23.00000	L6
12	-410.00000	1.11599	(空気)
13	-2449.05000	17.00000	L7
14	118.87129	18.76715	(空気)
15	-632.77988	12.90000	L8
16	143.15226	26.88300	(空気)
17	-108.88557	15.00000	L9
18	595.22400	52.22598	(空気)
19	1526.21000	35.00000	L10
20	-168.52598	14.91713	(空気)
21	-120.87196	22.80000	L11
22	-188.10351	2.79542	(空気)
23	-3191.22000	27.00000	L12
24	-296.62706	2.87454	(空気)
25	697.45117	28.00000	L13
26	-669.27158	2.50251	(空気)
27	358.82454	27.00000	L14
28	-2986.21000	1.65252	(空気)
29	223.50971	31.00000	L15
30	-1510.16000	8.59879	(空気)
31	-3596.81000	21.00000	L16
32	141.11696	9.76690	(空気)
33	194.35300	17.00000	L17
34	157.66411	31.54381	(空気)
35	-209.96142	15.90000	L18
36	307.10883	56.68480	(空気)
37	-175.13115	18.00000	L19
38	-1162.95000	6.27984	(空気)
39	-505.38166	23.00000	L20
40	-213.39177	1.14425	(空気)
41	3114.45000	23.00000	L21

42	-339.03822	2.92562	(空気)
43	460.54759	40.00000	L22
44	-326.27369	9.43390	(空気)
45	-231.89968	27.00000	L23
46	-372.57441	1.10621	(空気)
47	390.03678	28.00000	L24
48	-1994.66000	4.83821	(空気)
49	182.18377	29.00000	L25
50	525.45378	3.29556	(空気)
51	138.67730	39.90000	L26
52	312.43609	9.82752	(空気)
53	511.48346	23.00000	L27
54	81.45867	7.05951	(空気)
55	93.64185	34.00000	L28
56	934.34560	1.99581	(空気)
57	826.70065	35.00000	L29
58	1680.21000	28.74943	(空気)
59	∞		W

図5における(c)及び(d)は、上記表2に示したレンズデータに基づいて得られる球面収差の様子を示している。図5において、(c)は標高1000mの地点(高地)向けの収差オフセットを投影光学系に持たせた場合において、波長 $\lambda=0.2484\mu\text{m}$ (第1波長)に対する低地での環境条件のもとでの球面収差の様子を示す図、(b)は標高1000mの地点(高地)向けの収差オフセットを投影光学系に持たせた場合において、波長 $\lambda=0.248318\mu\text{m}$ (第2波長)に対する高地での環境条件のもとでの球面収差の様子を示す図である。但し、図5(c)に示す球面収差図は表2に示されるレンズデータの空気の屈折率を $n_{\text{airL}}=1.0002920$ (標高50mの低地での空気の屈折率)とした場合のものであり、図5(d)に示す球面収差図は表2に示されるレンズデータの空気の屈折率を $n_{\text{airH}}=1.0002617$ (標高1000mの高地での空気の屈折率)とした場合のものである。

【0040】また、図6における(c)及び(d)は、上記表2に示したレンズデータに基づいて得られる球面収差の様子を示している。図6において、(c)は標高1000mの地点(高地)向けの収差オフセットを投影光学系に持たせた場合において、波長 $\lambda=0.2484\mu\text{m}$ (第1波長)に対する低地での環境条件のもとでの歪曲収差の様子を示す図、(b)は標高1000mの地点(高地)向けの収差オフセットを投影光学系に持たせた場合において、波長 $\lambda=0.248318\mu\text{m}$ (第2波長)に対する高地での環境条件のもとでの歪曲収差の様子を示す図である。但し、図6(c)に示す歪曲収差図は表2に示されるレンズデータの空気の屈折率を $n_{\text{airL}}=1.0002920$ (標高50mの低地での空気の屈折率)とした場合のものであり、図5(d)に示す歪曲収差図は表2に示されるレンズデータの空気の屈折

率を $n_{airH}=1.0002617$ （標高1000mの高地での空気の屈折率）とした場合のものである。

【0041】なお、図5(d)に示す球面収差図及び図6(d)に示す歪曲収差図は、後述するが、表2に示されるレンズデータの空気の屈折率を $n_{airL}=1.0002920$ （上記(12)式にて示される標高50mの低地での空気の屈折率）とし、光の波長を $\lambda=0.248318\mu m$ （第2波長）に変更した場合での球面収差曲線と歪曲収差曲線に合致する。

【0042】以上の表2に示すように投影光学系の収差オフセット（例えば、L2～L29のレンズ間隔（空気間隔））の値が求められると、次のステップ4へ移行する。

〔ステップ4〕ステップ4では、上記ステップ3の第2サブステップにて求められた投影光学系の収差オフセット（例えば、表2に示されるL2～L29のレンズ間隔（空気間隔））の値に基づいて、投影光学系を構成する各レンズの設定位置等を再調整する。そして、この再調整の工程が完了すると、その差異調整された投影光学系は図1に示す露光装置本体に取りつけられ、その後、次のステップ5の出力波長の調整工程へ移行する。

〔ステップ5〕ステップ5では、投影光学系の検査（評価）に際して、低地での環境条件のもとで高地での環境条件を疑似的に再現するために、まず、投影光学系14*

$$(13) \quad n_{abs1} = n_{rel} \times n_{airL} = 1.5088305$$

さらに、第2波長の光に対する合成石英の絶対屈折率 n_{abs2} は、上記(7)式に上記(11)式～(13)式の※

$$(14) \quad n_{abs2} = n_{airL} \times n_{abs1} / n_{airH} = 1.5088762$$

また、波長が $\lambda=0.2484\mu m$ 付近での合成石英の分散を以下の(15)式の関係にあるものとする。

$$(15) \quad \Delta n / \Delta \lambda = -56 \times 10^{-2} (\mu m^{-1})$$

すると、 $\Delta n = n_{abs2} - n_{abs1}$ であるため、光源の波長の変更量 $\Delta \lambda$ は、上記(13)式～(15)式の関係から約 $-8.2 \times 10^{-5} \mu m$ となる。

【0046】従って、光源の波長を $0.2484\mu m$ （第1波長）から $0.248318\mu m$ （第2波長）に変更することにより、標高が50mの地点において標高が1000mに相当する大気圧の環境下で投影光学系14の光学性能の評価が可能となる。

（第2サブステップ）ステップ5の第2サブステップでは、算出された波長変化量（ $\Delta \lambda = -8.2 \times 10^{-5} \mu m$ ）に基づいて、図1に示す光源11の出力波長が $\lambda=0.248318\mu m$ （第2波長）となるように光源11の出力波長を調整する。

【0047】つまり、図2に示すように、ステップ5の第1サブステップにて求められた設定波長としての第2波長（ $\lambda=0.248318\mu m$ ）に関する情報をコンソール等の入力部28を介して調整量算出部26に入力する。そして、調整量算出部26は、波長モニター24からの計測情報と入力部28からの入力情報とに基づいて★50

*を検査（評価）するための露光用の光源11から供給される検査用の光の波長（第1波長）を所定の波長（第2波長）に設定及び調整する。

【0043】ステップ5では、光源11から供給される光の波長を調整するに先立って、まず、設定波長又は調整波長としての第2波長（第2波長とは異なる波長）を算出する。つまり、ステップ5では、光源11から供給される検査用の光の波長の調整量（又は検査用の光の波長の値）を算出する第1サブステップと、光源11から供給される検査用の光の波長を調整（又は検査用の光の波長を所定の第2波長に設定）する第2サブステップとを有している。

【0044】ここで、表1及び表2に示した図4の投影光学系14に基づいて、第5ステップの具体例を説明する。

（第1サブステップ）表1及び表2に示したように、図4の投影光学系14を構成する屈折性光学部材として、例えば、表1及び表2に示されるように合成石英が用いられている。

【0045】今、 $0.2484\mu m$ （第1波長）の光に対する合成石英の相対屈折率 n_{rel} が 1.508390 であるものとする、その合成石英の絶対屈折率 n_{abs1} は、上記(7)式、(11)式及び(12)式の関係から以下の(13)式のようにになる。

※値を代入すると、以下の(14)式のようにになる。

★波長調整手段（プリズム22や反射型回折格子21）

30 に関する波長調整量を算出する。その後、調整量算出部26は、駆動部27を介して波長調整手段（プリズム22や反射型回折格子21）を駆動させる。これにより、最終的にエキシマレーザ発振部23（光源1）から発振される光の出力波長が第2波長（ $\lambda=0.248318\mu m$ ）となるように調整される。このステップ5での出力波長の調整工程が完了すると、次のステップ6の検査工程（評価工程）へ移行する。

〔ステップ6〕ステップ6では、上記ステップ4の再調整によって高地向けの収差オフセットが付与された投影光学系14が第2波長（ $\lambda=0.248318\mu m$ ）のもとで所定の光学性能を満たしているか否かを確認するために、投影光学系14の光学性能を上記ステップ2と同様な手法によって検査（評価）する。投影光学系14の光学性能は、例えば、試し露光の手法によって評価される。そして、例えば、表2に示すように調整された投影光学系14に関して球面収差が図5(d)に示すように補正され、投影光学系14の歪曲収差が図6(d)に示すように補正されているか否かを検査（評価）する。

【0048】なお、図5(d)及び図6(d)に示す収差図は、高地での環境条件（空気の屈折率 n_{airH} が1、

21

0002617)のもとでの第1波長($\lambda=0.2484\mu\text{m}$)に対する球面収差及び歪曲収差の曲線を示しているが、高地向けの収差オフセットを付与された投影光学系14の光学性能(結像性能)が良好であれば、ステップ6において検査される投影光学系14の球面収差及び歪曲収差は、図5(d)及び図6(d)に示す収差曲線と合致する。

【0049】ここで、投影光学系14の光学性能を評価した結果、もし、投影光学系14の光学性能が所定の光学性能を満たしていない場合には以下のステップ7の再調整工程へ移行して、再度投影光学系14の調整が実行される。また、もし、投影光学系14の光学性能が所定の光学性能を満たしている場合には、以下のステップ6の基準波長への波長再設定工程へ移行する。

〔ステップ7〕ステップ7では、以上のステップ6において投影光学系14の光学性能が所定の光学性能を満たしていないと判断された時に、上記ステップ2と同じ手法によって多数の光学部材(レンズ、レンズ保持部材等)で組み上げられた投影光学系14を再調整する。つまり、このステップ7では、高地向けの収差オフセットが付与された投影光学系14の性能を十分に引き出すために、投影光学系13を構成する光学部材間の間隔(例えば、レンズ間隔)を変化させたり、あるいは投影光学系14を構成する光学部材を傾斜、又は光軸と直交する方向に変位させる等の手法により投影光学系14を再調整する。このステップ7の再調整工程が完了すると、再び上記ステップ6へ戻り、投影光学系14の光学性能が再検査(再評価)される。

〔ステップ8〕以上のステップ6において投影光学系14の光学性能が所定の光学性能を満たしていないと判断された後に、ステップ8では、露光用光源から出力される波長を高地において実際に使用される露光波長(基準波長)に設定し直す。

【0050】ここで、以上のステップ5及び6において、投影光学系14が図1に示す露光装置に取り付けられた場合に、ステップ8では露光装置の光源1を実際の使用状態の基準波長(第1波長)に戻す。露光装置の光源1を実際の使用状態に戻す手法は、まず、図2に示すように、設定波長(基準波長)としての第1波長($\lambda=0.2484\mu\text{m}$)に関する情報をコンソール等の入力部28を介して調整量算出部26に入力する。そして、調整量算出部26は、波長モニター24からの計測情報と入力部28からの入力情報とに基づいて波長調整手段(プリズム22や反射型回折格子21)に関する波長調整量を算出する。その後、調整量算出部26は、駆動部27を介して波長調整手段(プリズム22や反射型回折格子21)を駆動させる。これにより、最終的にエキシマレーザ発振部23(光源1)から発振される光の出力波長が第1波長($\lambda=0.2484\mu\text{m}$)となるように調整される。

22

【0051】以上のように、ステップ1~8を経ることによって露光装置は完成する。このため、この完成した露光装置を例えば高地へ移送及び設置したとしても露光装置の投影光学系14を調整及び評価した低地の環境下での性能が高地の環境下においても再現することができる。また、ステップ8の工程は露光装置が実際に設置及び使用される場所(例えば、高地)において実行しても良い。この場合、ステップ7とステップ8との間では、露光装置の性能を損なうことなくしかも露光装置の高地への輸送を容易にするために、露光装置を各ユニット(光源11、照明光学系12、投影光学系14等)毎に一旦分解し、高地において露光装置を組み立てるようにすることが望ましい。

【0052】以上のステップ1~8を経た露光装置をそのまま高地へ移送及び設置(あるいはステップ1~8を経た露光装置を各ユニット毎に一旦分解した上で高地へ移送し、高地において露光装置を組立て設置)する。その後、図1に示す露光装置によって露光工程を実行することによって良好なる半導体デバイスを高地においても製造することができる。この時の露光工程は、図1に示すように、まず、不図示のマスクステージ上に露光用マスク13を載置して投影光学系14の物体面に露光用マスク13を設定すると共に、不図示の基板ステージ上に感光性基板(ウエハ等)を載置して投影光学系14の像面に感光性基板15を設定する。次に、光源1からの光を照明光学系12を介して露光用マスク13を照明し、投影光学系14を介して露光用マスク13の回路パターン像を感光性基板15に投影する。これによって、高地の環境下においても良好なるマスク13のパターン像を感光性基板15に転写することができる。よって、高地の環境下においても良好なる半導体デバイスを製造することができる。

【0053】ところで、以上においては、投影光学系の光学性能を検査又は評価するに際して、図1に示す露光本体に設けられている露光用の光源11自身から出力される光を用いた例を図3を参照しながら説明した。しかしながら、本発明は、図1及び図2に示す露光装置と同じ構成を持つ検査専用の検査装置を用いて投影光学系の光学性能を検査又は評価することもできる。この場合での作業手順は図7のフローチャートに示している。

【0054】図7に示すステップ11~16はそれぞれ図3に示すステップ1~6と同じであるため説明を省略する。図7に示すステップ16での検査装置の光源から出力される検査用の第2波長の光を用いた検査の結果、投影光学系の光学性能が良好であると判断された場合には、ステップ18に移行する。そして、ステップ18では、上記ステップ16を経た投影光学系は、第1波長としての露光波長を出力するように設定された光源を持つ露光装置本体に取り付けられ、露光装置が完成する。

【0055】このステップ18では、以上のステップ1

6を経た投影光学系14及び図1に示す露光装置本体を各ユニット(光源11、照明光学系12、投影光学系14等)毎に分離した状態で高地へ移送し、これらのユニットを高地にて組立て及び設置して、露光装置を完成させても良い。以上のように、以上のステップ11~18を経た露光装置を高地へ移送及び設置し、その後、その露光装置によって露光工程を実行することによって良好なる半導体デバイスを高地においても製造することができる。

【0056】なお、図7に示した例では、1つの検査装置を用いて光源の波長を第1検査用の露光波長(基準波長)としての第1波長から第2検査用の第2波長に変更(変化)させる例を述べたが、本発明は、この手法に限ることはない。例えば、2つの検査装置を用いることによって、図7に示すステップ16の波長調整工程(波長変化工程)を省略することができる。つまり、第1検査用の露光波長(基準波長)としての第1波長の光を供給する光源を備えた第1検査装置を用いて上記ステップ12の第1検査工程を実行し、投影光学系が検査又は製造される低地の環境条件と投影光学系が実際に使用される高地と環境条件との差異に基づいて設定された所定の第2波長の第2検査用の光を供給する光源を備えた第2検査装置を用いて上記ステップ16の第2検査工程を実行する手法を採用しても良い。

【0057】また、以上の各例では、投影系を含む露光装置の調整及び評価する場所と投影系を含む露光装置を実際に設置及び使用する場所との環境条件の差異として気圧に着目したが、これに限ることはなく、温度差、湿度差等の環境差を考慮しても良いことは言うまでもない。このように、本発明によれば、光学系の調整、評価を行って所望の性能を達成した後、露光装置等の装置が実際に設置及び使用される場所の環境に見合った収差オフセットを与え、次に高地での光学系の光学性能を予め確認するために、露光装置等の装置の光源の波長を変化させることにより、光学系の光学性能を精度良く調整及び評価することが可能となる。

【0058】また、以上の例では、光学系の調整及び評価を行う地点よりも、露光装置等の装置を実際に設置及び使用する地点での標高が高い例を示したが、本発明は、この逆の場合でも良いことは言うまでもない。なお、以上の特許請求の範囲の請求項1、3、4、6、7、10、11、12、13等の「第1環境条件と第2環境条件との差異に基づき、」という旨の記載を「第1環境条件と第2環境条件との差異に起因して生ずる光学

系(投影光学系)を包囲する気体(媒質)の屈折率の変化(差異)に応じて、」という旨の記載とすることもできる。

【0059】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、光学系の調整及び検査を行う場所とその光学系が実際に設置又は使用される場所との環境条件の差異があったとしても、その光学系が実際に設置又は使用される場所での環境下と疑似的に同一な環境を、その光学系の光学性能を調整及び検査を行う環境下において簡便に作り出すことが可能となる。従って、光学系の調整及び検査を行う場所においても、光学系が実際に設置又は使用される場所と同一の光学系の光学性能を精度良く調整及び検査することができる。これによって、良好なる光学性能を有する光学系を製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】露光装置の概略的構成を示す図である。

【図2】図1に示す露光装置の光源として使用されるエキシマレーザの構造を示す図である。

【図3】本発明による1つの手法に関する手順を説明するための図である。

【図4】図1に示す露光装置における投影光学系の1例を示すレンズ構成図である。

【図5】図4に示す投影光学系の球面収差の様子を示す図である。

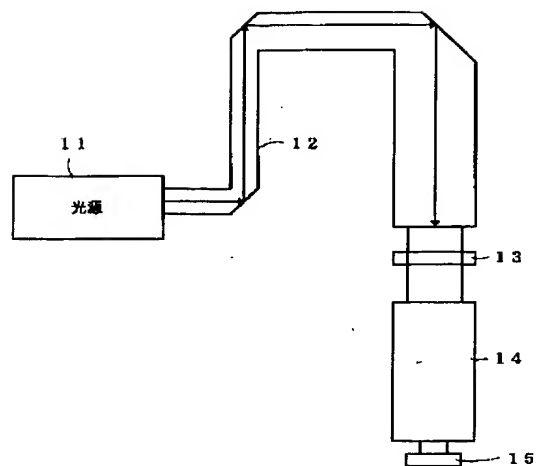
【図6】図4に示す投影光学系の歪曲収差の様子を示す図である。

【図7】本発明による別つの手法に関する手順を説明するための図である。

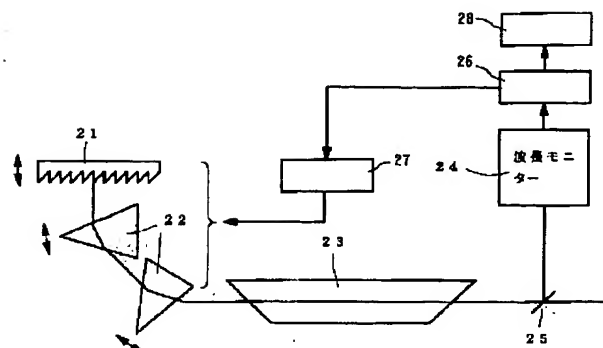
【符号の説明】

- 11.....光源
- 12.....照明光学系
- 13、R.....レチクル
- 14.....投影光学系
- 15、W.....基板(ウエハ)
- 21.....反射型回折格子
- 22.....プリズム
- 23.....エキシマレーザ発振部(レーザチャンバー)
- 24.....波長モニター
- 25.....ハーフミラー
- 26.....調整量算出部
- 27.....駆動部
- 28.....入力部

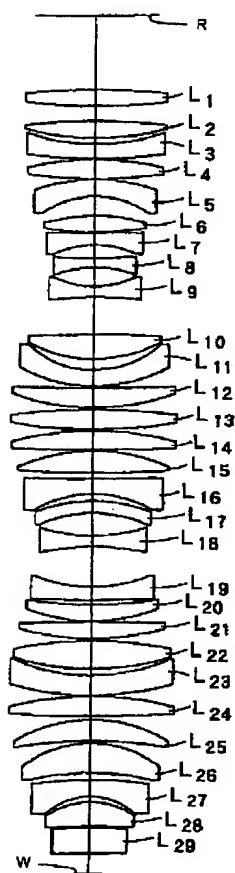
【図1】



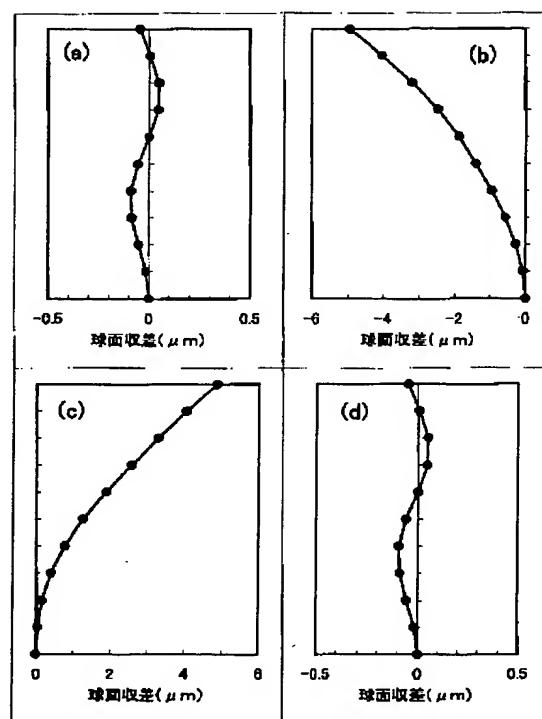
【図2】



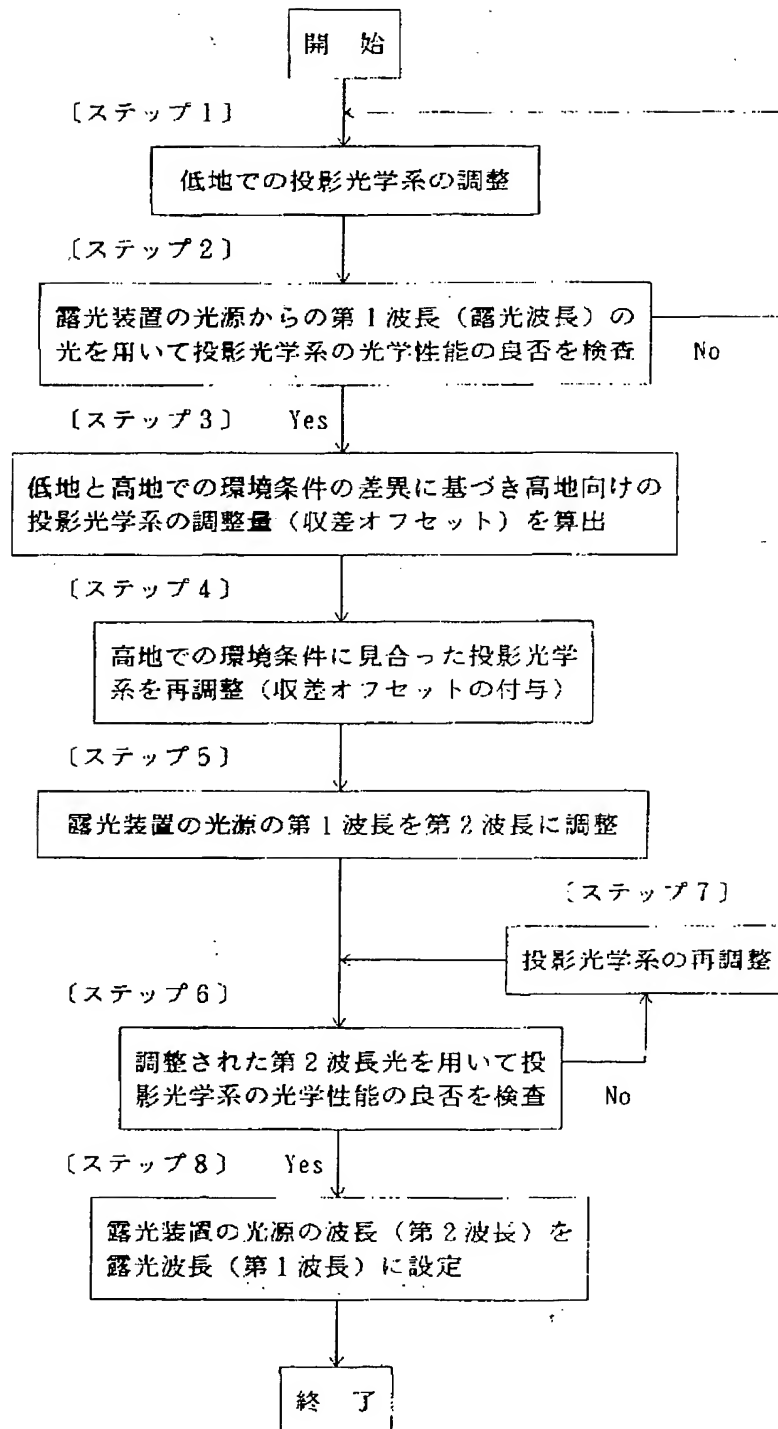
【図4】



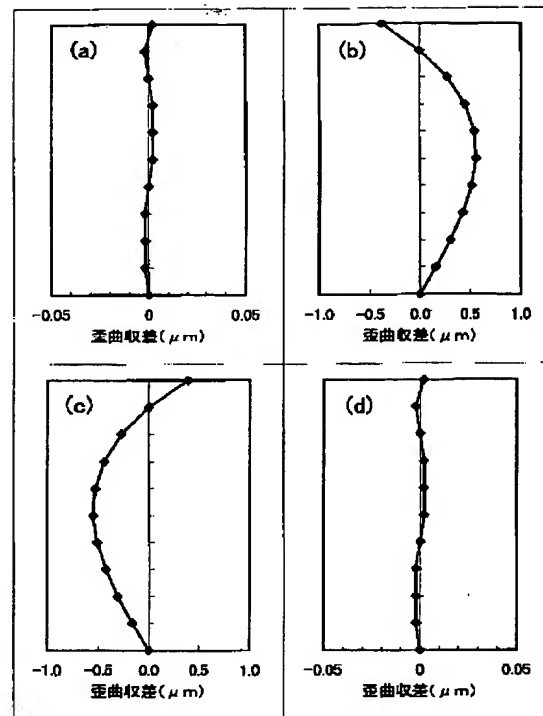
【図5】



【図3】



【図6】



【図7】

